بررسی تجربی تاثیر ضخامت طلا و غلظت محلول الکترولیت در کامپوزیت‌های پلیمری یونی- فلزی*

مهران رزاقی قلعه[۱]	بهمن میرزاخانی[۲]	مهدی رئوفی[۳]

چکیده

کامپوزیت‌های پلیمر یونی- فلزی از جمله مواد هوشمندی هستند که اخیراً در صنایع مختلف کاربردهای گسترده‌ای یافته‌اند. این دسته از کامپوزیت‌ها، کامپوزیت‌های لایه‌ای فلزی پلیمری بوده که ساخت آنها از تکنولوژی پیچیده‌ای برخوردار است. این کامپوزیت‌ها نسل جدیدی از مواد هوشمند هستند که در محرک‌ها استفاده می شوند. هدف از تحقیق حاضر ساخت یک کامپوزیت پلیمر یونی- فلزی با استفاده از لایه نشانی و بررسی تأثیر متغیرهای مختلف بر خواص و ساختار آن است. بدین منظور پس از تهیه ورق پلیمر پلی وینیلیدین فلوراید متخلخل، پوششی از طلا با ضخامت نانومتری بر روی ورقه نازک آن به روش کندوپاش ایجاد گردید. در ادامه به کمک روش الکتروپلیتینگ با استفاده از محلول پروپیلن کربنات، پیرول و نمک تری فلوئورومتان سولفونیمید لیتیوم، در شرایط کاملاً کنترل شده پلی پیرول برروی طلا نشانده شد. میکروسکوپ الکترونی جهت بررسی کیفیت پوشش و آنالیز طیف سنجی مادون قرمز برای برررسی ساختار و شناسایی ترکیبات پلیمر استفاده گردید. پارامترهای موثر بر لایه نشانی پلی پیرول نظیر غلظت محلول و ضخامت پوشش طلا، مورد بررسی واقع شد. نتایج نشان می‌دهد که با افزایش ضخامت پوشش طلا، ضخامت پوشش پلی پیرول بیشتر شده و کیفیت سطحی آن بهتر می‌گردد. همچنین شرایط بهینه الکتروپلیتینگ برای مقدار غلظت محلول الکترولیت ۰/۱ مولار در دمای کاری ۲۵- درجه سلسیوس بدست آمد.

واژه‌های کلیدی پلیمرهای الکترواکتیو؛ کامپوزیت‌های پلیمری یونی- فلزی؛ لایه نشانی.

Experimental Study on the Effect of Gold Thickness and Concentration of the Electrolyte Solution of Ionic Polymer-Metal Composites (IPMC)

M. Razaghi	B. Mirzakhani	M. Raufi

Abstract

Ionic polymer metal composites have recently been extensively used in various industries. These are a new generation of smart materials for fabrication of actuators. IPMC is a layered polymer-metal composite processed using advanced technology. The objective of this project is the production and processing of polypyrrole-gold-polyvinylidene fluoride (PVDF) composite. The porous PVDF membranes were first sputtered with gold as a conductive layer. The solution of propylene carbonate, pyrrole and lithium triflouromethane sulfonamide salt was employed as an electrolyte for electroplating of poly pyrrole on the gold layer under controlled conditions. The composite layers along with the influence of temperature, current and time of electroplating, electrolyte concentration and thickness of the gold layer on the characteristics of the IPMC were investigated using SEM and FTIR techniques. The results indicated that the thickness of poly pyrrole layer increased with an increase in the thickness of the gold layer and electroplating duration. Meanwhile, the optimum condition of electroplating was obtained in the sample containing 0.1 molar of pyrrole and lithium triflouromethane sulfonamide salt temperature of -25 °C.

Key Words Electro active polymers; Ionic polymer–metal composite (IPMC); Polyvinylidene fluoride (PVDF); gold coating; Polypyrrole

* نسخه‌ی نخست مقاله در تاریخ ۹۲/۱۲/۱۰ و نسخه‌ی پایانی آن در تاریخ ۹۳/۱۰/۱٤ به دفتر نشریه رسیده است.

(۱) نویسنده مسئول: کارشناسی ارشد مهندسی مکاترونیک، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه اراک.

(۲) استادیار گروه مهندسی مواد و متالورژی، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه اراک.

(۳) استادیار گروه مهندسی مواد و متالورژی، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه اراک.

مقدمه

با پیشرفت سریع علم مواد در علوم و صنایع مختلف، مواد هوشمند مختلفی به سرعت توسعه یافته‌اند که در بسیاری از تجهیزات مورد استفاده قرار می‌گیرند. مواد هوشمند اصطلاحاً به موادی گفته می‌شود که می‌توانند با درک محیط و شرایط اطراف خود نسبت به آن واکنش مناسب نشان دهند. پلیمرها نیز از این قضیه مستثناءِ نمی‌باشند و می‌توانند در برابر محرک‌های مختلف نظیر دما، میدان‌های الکتریکی و میدان‌های مغناطیسی، عکس‌العمل‌های متفاوتی از خود نشان دهند[1]. پلیمرهای اکتیو، پلیمرهای هوشمندی هستند که در پاسخ به محرک‌های خارجی مانند میدان الکتریکی، pH، میدان مغناطیسی و نور عکس العمل نشان داده و تغییر شکل یا اندازه می‌دهند [2].

پلیمرهای الکترواکتیو (electro active polymer (EAP))، موادی می‌باشند که با جریان الکتریکی تحریک می‌شوند [2,3]. این مواد با توجه به مکانیزم تحریک، به دو نوع پلیمرهای الکترواکتیو الکترونی و پلیمرهای الکترواکتیو یونی طبقه‌بندی می‌شوند. بطور خلاصه می‌توان گفت که پلیمرهای الکترواکتیو الکترونی توسط میدان الکتریکی و نیروهای کولن تحریک می‌شوند و پلیمرهای الکترواکتیو یونی با حرکت و انتشار یون و مواد مزدوج خود تغییر شکل پیدا می‌کنند[4].

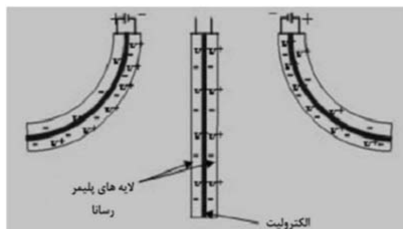
پلیمرهای الکترواکتیو در مقایسه با آلیاژهای حافظه دار، سرعت پاسخ بالاتر، چگالی کمتر و حالت ارتجاعی بیشتری داشته و همچنین نسبت به سرامیک‌های الکترواکتیو، دارای چگالی و ولتاژ تحریک کمتری می‌باشند [3].

پلیمرهای الکترواکتیو یونی شامل دو الکترود و یک الکترولیت در داخل خود هستند. بزرگترین مزیت این مواد این است که آنها به ولتاژهای پایین حدود ۱ ولت نیز پاسخ می‌دهند. پلیمری که در این تحقیق مورد بررسی قرار گرفته، از نوع الکترواکتیو یونی می‌باشد و به کامپوزیت‌های پلیمری فلزی یونی (ionic polymer-metal composite (IPMC)) مشهور می‌باشند.

کامپوزیت‌های پلیمری فلزی یونی در برش مقطع عرضی شبیه به یک ساندویچ با لایه‌های الکترود در خارج و ماتریس پلیمری در مرکز می‌باشند. همچنین، در این روش انعطاف‌پذیری بیشتری در انتخاب مواد الکترود مانند فلزات پلاتین، پالادیوم، نقره، طلا، کربن و گرافیت وجود دارد.

پلیمرهای الکترواکتیو پلیمرهای رسانای چند لایه می‌باشند که در ساخت آنها از پلی وینیلیدین فلورید (PVDF) و پلی پیرول (PPY) استفاده شده و با ولتاژی در حدود کمتر از ۲ ولت جابجایی پیدا می‌کنند [5].

پلیمرهای الکترواکتیو، پلیمرهای رسانای چند لایه می‌باشند که با ولتاژی در حدود ۱ ولت دچار جابجایی می‌شوند. پلیمرهای رسانا، مواد آلی با قابلیت هدایت الکتریکی می‌باشند. ساختار اساسی محرکه‌های پلیمر رسانا، مشابه یک ساندویچ متشکل از دو نوار پلیمر با الکترولیت بین آنها می‌باشد. نوارهای پلیمر همانند الکترودهای سلول‌های الکتروشیمیایی عمل می‌کنند. هنگامی که پتانسیلی به الکترودها اعمال شود، اکسایش در آند و احیا در کاتد رخ می‌دهد. برای حفظ تعادل بارهای الکتریکی، یون‌ها به داخل و خارج از پلیمر و الکترولیت منتقل می‌شوند. تورم و انبساط، زمانی اتفاق می‌افتد که یون‌های اضافی وجود داشته باشد و انقباض زمانی روی می‌دهد که یون‌ها حذف شده باشند. خم شدن پلیمر ساندویچی هنگامی که الکترود متورم و منقبض می‌شود در شکل (۱) نشان داده شده است [3,6].



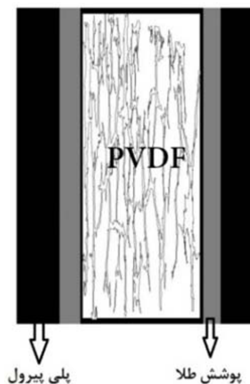
شکل ۱ نمایش شماتیک از سه حالت پلیمرهای چند لایه

کامپوزیت‌های پلیمری فلزی یونی برای دامنه وسیعی از کاربردهای مختلف از جمله بکارگیری در نیروی محرکه هیدرودینامیک، شناورسازی و باله‌های پرواز مورد استفاده قرار می‌گیرند. از کاربردهای مهم این مواد در صنعت مکاترونیک می‌توان به ساخت گریپرهای رباتیکی، کاهنده‌های اختلال، لباس‌های مخصوص فضانوردی و غواصی، عملگرهای تجهیزات نجومی، آنتن‌ها و رادارهای با قابلیت انبساط و حسگرهای بویایی اشاره کرد [6].

هدف از این پژوهش، ساخت و بررسی ساختار یک کامپوزیت پلیمر یونی- فلزی است. بدین ترتیب که پوشش پلیمر یونی ایجاد شده بروی یک فلز از نظر فصل مشترک و ساختار میکروسکوپی مورد مطالعه قرار می‌گیرد. همچنین، بررسی پارامترهای موثر و شرایط بهینه ساخت کامپوزیت‌های پلیمری فلزی یونی مورد تحقیق قرار می‌گیرد.

روش آزمایش

کامپوزیت ساخته شده چند لایه بوده که در شکل (۲) تصویری از آن نمایش داده شده است.



شکل ۲ شماتیکی از ساختمان کامپوزیت پلیمری فلزی – یونی

مواد آزمایشگاهی مورد استفاده

ورق نازک متخلخل پلی وینیلیدین فلورید از شرکت میلی پور با قطر منافذ ۰/۴۵ میکرون و ضخامت ۱۰۰ میکرون، پروپیلن کربونات (PC) از شرکت مرک، نمک تری فلوئورومتان سولفونیمید لیتیوم (LiTFSI) از شرکت سیگما- آلدریچ و پیرول (Pyrrole) از شرکت مرک تهیه شده‌اند.

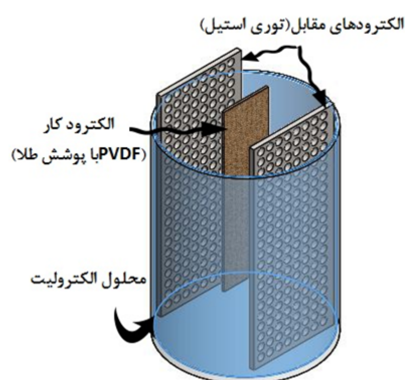
کامپوزیت‌های پلیمری فلزی یونی در نظر گرفته شده در تحقیق حاضر شامل یک لایه پلیمر متخلخل به ضخامت ۱۰۰ میکرون در وسط است که دو طرف آن به روش کندوپاش پوشش طلا داده شده است. عمل پوشش‌دهی توسط یک دستگاه کندوپاش به نام Desk sputtering coater مدل DSR1 صورت گرفت. کندوپاشی تحت فشار خلاءِ اولیه ۱۰۰ تور و جریان ۲۵ میلی‌آمپر و طی مدت زمان‌های متفاوت انجام گرفت.

لایه پلی پیرول نشان داده شده در شکل (۲) از طریق یک محلول الکترولیت به روش الکتروپلیتینگ روی پوشش طلای ایجاد شده می‌نشیند. ترکیب محلول مورد استفاده به عنوان الکترولیت شامل پروپیلن کربنات، نمک تری فلوئورومتان سولفونیمید لیتیوم، پیرول و آب است [7,8]. برای دستیابی به حالت بهینه در لایه نشینی، غلظت‌های متفاوتی از نمک و پیرول در نظر گرفته شد.

در تحقیق حاضر، غلظت‌های ۰/۱ مولار و ۰/۰۵ مولار به عنوان یکی از متغیرهای لایه نشانی پلی پیرول در نظر گرفته شد. بدین منظور، درصد ترکیبات مورد نیاز از محلول الکترولیت حاوی نمک تری فلوئورومتان سولفونیمید لیتیوم، پیرول و پروپیلن کربنات برای هر نمونه محاسبه و برای انجام آزمایش آماده شده است.

برای لایه نشانی پلی پیرول از روش الکتروشیمیایی الکتروپلیتینگ استفاده گردید. در این روش، لایه نشینی مواد به کمک جریان الکتریکی انجام می‌گیرد. در این روش با استفاده از عبور جریان الکتریکی از محلول الکترولیت و الکترودهای آند و

کاتد، رسوب شیمیایی اتفاق می‌افتد که به این روش گالوانواستات گفته می‌شود[9,10].
مطابق شکل (۳)، بعد از آماده کردن محلول الکترولیت، آن را داخل یک محفظه یونولیتی قرار داده و با استفاده از یخ خشک که در اطراف ظرف محلول ریخته شده بود، دمای محلول به دمای ۲۵- درجه سانتیگراد تنظیم می‌گردید. لازم به ذکر است که در طول آزمایش، دما توسط یک دماسنج دیجیتالی تحت کنترل بود. به قطعات پلی وینیلیدین فلورید برش زده شده و با طلا پوشش داده شده، الکترود کار گفته می‌شود و الکترود ناظر دو توری فلزی از جنس فولاد ضدزنگ انتخاب گردید. به الکترود کار قطب مثبت و الکترود ناظر قطب منفی متصل گردید. بعد از آن که دمای محلول به دمای مورد نظر رسید، منبع جریان وصل می‌گردید. فرآیند اکسایش و احیاء در اثر برقراری جریان آغاز می‌شود. در این صورت، یون‌های پیرول موجود در الکترولیت تحریک شده و از سمت الکترود آند به سمت الکترود کاتد یا الکترود کار حرکت می‌کنند. طی فرآیند پلیمرازیسیون، پیوند یون‌های پیرول شکسته شده و یون‌های لایه ظرفیت پیرول آزاد شده و با حرکت به سمت پلی وینیلیدین فلورید با پوشش طلا، بر روی لایه طلا نشسته و انباشته می‌شوند. میزان و شکل انباشتگی ذرات به میزان غلظت، دمای کاری، فاصله الکترودها، ضخامت طلای پوشش داده شده، زمان الکتروانباشت و چگالی جریان بستگی دارد.



شکل ۳ ظرف بشر حاوی محلول الکترولیت و الکترود کار و الکترود ناظر

فرآیند لایه نشانی ۳ نمونه، به روش الکتروپلیتینگ به مدت زمان ٤ ساعت انجام گرفت. سایر شرایط الکتروپلیتینگ در جدول (۱) آورده شده است. سپس، این نمونه‌ها مورد آزمایش قرار گرفته تا شرایط بهینه برای ساخت نمونه کامپوزیت فلزی – یونی بدست آید.

بعد از پایان لایه نشانی، نمونه با استون شسته شده و در داخل محلول ۰/۱ مولار پروپیلن کربنات و نمک تری فلوئورومتان سولفونیمید لیتیوم قرار داده شده تا نمک به داخل آن نفوذ کرده و جذب آن شود.

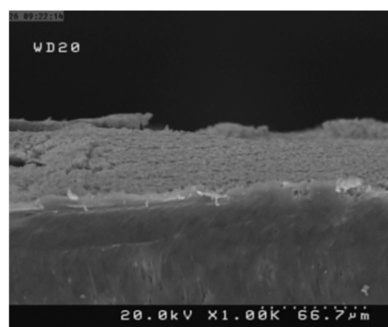
پس از آنکه کامپوزیت‌های پلیمری فلزی یونی طبق شرایط ارائه شده در جدول (۱) ساخته شدند، بوسیله آزمایش‌های FTIR و میکروسکوپ الکترونی روبشی مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفتند.

جدول ۱ نمونه‌های لایه نشینی شده با شرایط آزمایش شده

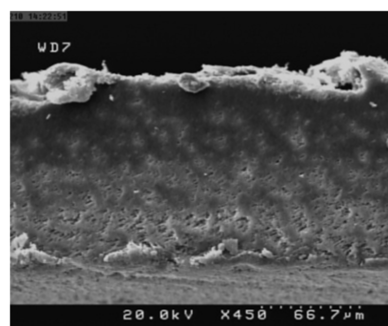
نمونه	زمان اسپاترینگ طلا (دقیقه)	غلظت محلول الکترولیت (مولار)	دمای لایه نشانی(°C)	زمان لایه نشانی(hr)
۱	۳/۵	۰/۱	۲۰- تا ۲۵-	٤
۲	٤/۵	۰/۱	۲۰- تا ۲۵-	٤
۳	۳/۵	۰/۰۵	۲۰- تا ۲۵-	٤

نتایج و بحث

پوشش‌دهی طلا. پوشش طلا بر روی پلی وینیلیدین فلورید توسط دستگاه کندوپاش و برای دو نمونه به مدت زمان‌های ۳/۵ و ٤/۵ دقیقه انجام گرفت. اندازه ذرات طلا در حد نانومتر و ضخامت طلای پوشش داده شده در حد میکرون است. تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی عرضی از نمونه‌های پوشش داده شده برای مدت زمان‌های ۳/۵ دقیقه و ٤/۵ دقیقه در شکل (٤) نشان داده شده است.



(الف)



(ب)

شکل ٤ تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی برش عرضی از نمونه‌های (الف) ۳/۵ و (ب) ٤/۵ دقیقه با مقیاس ٦٦/٧ میکرون

با مقایسه تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی از مقطع و عرض نمونه‌های (آ) و (ب)، ضخامت پوشش طلا برای نمونه (آ) حدود ٤ میکرون و برای نمونه (ب) حدود ٦ میکرون است. این تفاوت در ضخامت پوشش بدلیل تفاوت در زمان کندوپاش در دو نمونه است. به نظر می‌رسد که ضخامت فلز پوشش داده شده روی دو طرف ورق پلی وینیلیدین فلورید متخلخل، هم بر خواص پوشش نهایی و هم بر ویژگی‌های کامپوزیت پلیمری فلزی یونی ساخته شده تأثیر بگذارد. با افزایش ضخامت پوشش طلا، مقاومت الکتریکی کاهش یافته و در نتیجه پتانسیل افزایش می‌یابد و این سبب می‌شود که چگالی جریان کاهش یابد؛ و در نهایت باعث کاهش ناهمواری‌های سطحی شده و سطح یکنواخت تر می‌شود [۱۱].

بررسی پوشش پلی پیرول

پوشش‌دهی پلی پیـرول بـه روش الکتروپلیتینـگ روی پوشش طلای پلی وینیلیدین فلوریـد از طریـق فرآینـد اکسایش- احیا صـورت گرفتـه اسـت. در جـدول (۲) مقایسه پلی پیرول سیگما آلدریچ و پلی پیـرول مرجـع [۹] نشان داده شده است. در این مقاله دو عامـل مـوثر در لایـه نشـانی پلـی پیـرول یعنـی غلظـت محلـول و ضخامت پوشش طلا مورد بررسی قرار گرفت.

جدول ۲ مقایسه پلی پیرول مرجع و پلی پیرول سیگما

پلی پیرول مرجع	پلی پیرول سیگما آلدریچ	گمارش Assignment) (
١٥٤٢ و ١٤٥٨	١٥٤٤ و ١٤٥٨	C=C کششی
۱۳۱۱	۱۳۱۳	C-N کششی
١١٦٦	١١٧٤	C-N کششی
۱۰٤۱	۱۰٤۰	N-H خمشی
۹۰۸	۹۰۷	C-H خمشی

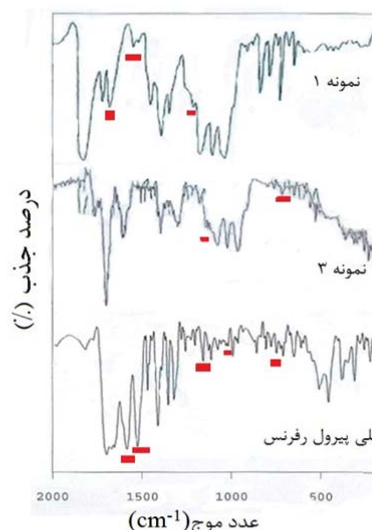
تأثیر غلظت محلول

غلظت نمک و پیرول در محلول الکترولیت یکی از عوامل موثر در لایه نشانی به روش الکتروپلیتینگ می‌باشد. برای لایه نشانی پلی پیرول، دو غلظت متفاوت ۰/۱ و ۰/۰۵ مولار نمک و پیرول در محلول الکترولیت مورد بررسی قرار گرفت. لازم به ذکر می‌باشد که مقدار غلظت‌های انتخاب شده در این تحقیق براساس فعالیت های انجام شده در مقالات می باشد.

همانطور که در جدول (۱) نشان داده شده است، نمونه‌های ۱ و ۳ در تمامی پارامترها، بجز غلظت محلول، شرایط یکسانی دارند. برای مقایسه نمونه‌ها نیز از روش‌های طیف سنجی و تصاویر میکروسکوپی استفاده گردید. در جدول (۳) عدد موجی‌های نمونه‌های ۱ و ۳ آورده شده است. لازم به ذکر است که منظور از علامت (–) نداشتن آن عدد موجی نمی‌باشد، بلکه منظور آن است که در آن عدد موجی، قدرت جذب کمتر بوده و ضعیف می‌باشد. همچنین، در شکل (۵) طیف FTIR (که واحد آن (cm^{-1}) بوده) برای نمونه‌های ۱ و ۳ مقایسه شده است.

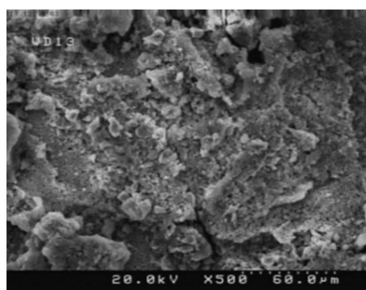
جدول ۳ مقایسه عدد موجی‌های نمونه‌های ۱ و ۳

ردیف	پلی پیرول	نمونه ۱	نمونه ۳	گمارش
۱	۱٥٤۲	۱٥٤٤	۱٥٤٤	C=C کششی
۲	۱٤٥۸	۱٤٥۸	۱٤٥۸	C=C کششی
۳	۱۳۱۱	۱۳۱۳	–	C-N کششی
٤	۱۰٤۰	–	۱۰٤۰	N-H خمشی
٥	۹۰۸	۸۹٦	–	C-H خمشی

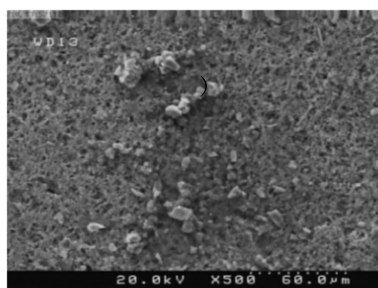


شکل ٥ طیف FTIR برای نمونه‌های ۱، ۳و پلی پیرول

طبق جدول (۳)، نمونه ۱ و نمونه ۳ در عدد موجی ۱٥٤٤ و ۱٤٥۸ طیف‌های مشابهی با پلی پیرول مرجع دارند که نشان دهنده وجود گمارش C=C کششی می‌باشد. نمونه ۱ دارای طیف ۱۳۱۳ بوده که نشان دهنده گمارش C-N کششی است. در حالی که نمونه ۳ در عدد موجی ۱۰٤۰ که گمارش N-H خمشی می‌باشد دارای پیک می‌باشد. نمونه ۱ عدد موجی مشابهی با پلی پیرول مرجع در ۸۹٦ داشته و دارای گمارش C-H خمشی می‌باشد. از مقایسه طیف‌های نمونه‌های ۱ و ۳ با طیف‌های پلی پیرول مرجع می‌توان دریافت که هر دو نمونه دارای طیف‌های مشابهی هستند و این نشان دهنده آن است که پوشش پلی پیرول بر روی نمونه‌ها و تحت هر دو غلظت تشکیل شده است. به نظر می‌رسد تفاوت این نمونه‌ها به ضخامت لایه پوشش و مورفولوژی ساخت آنها مربوط شود. به همین جهت تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی از نمونه‌های ۱ و ۳ تهیه شده که در شکل (٦) و شکل (۷) نشان داده شده است. تصاویر به ترتیب ابتدا از سطح و سپس از برش عرضی نمونه‌ها تهیه گردید.

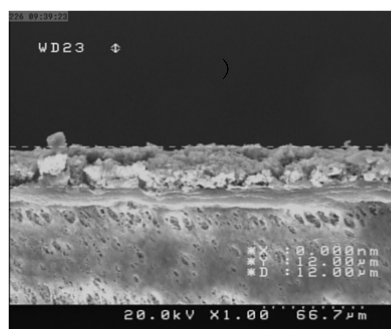


(الف)

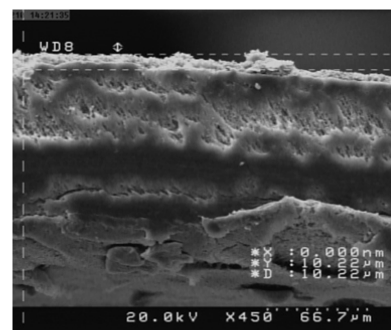


(ب)

شکل ٦ تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی (الف) نمونه ۱و (ب) نمونه ۳



(الف)



(ب)

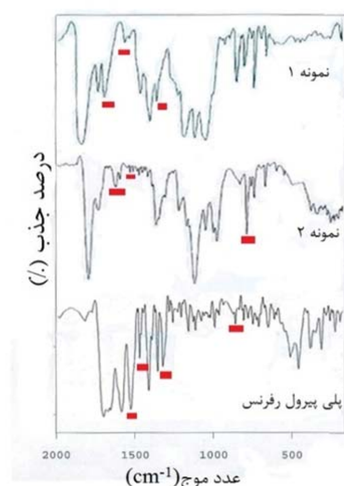
شکل ۷ تصویر برش عرضی میکروسکوپ الکترونی روبشی (الف) نمونه ۱ و (ب) نمونه ۳

با توجه به تصاویر میکروسکوپ الکترونی شکل (٦) و شکل (٧)، می‌توان لایه پلی پیرول تشکیل شده بر روی پلی وینیلیدین فلورید پوشش داده شده با طلا را مشاهده نمود. لایه پلی پیرول نمونه ۱ نسبت به نمونه ۳ متراکم تر است زیرا غلظت محلول الکترولیت برای نمونه ۳ کمتر بوده و لذا تخلخل بیشتری در ساختار این نمونه دیده می‌شود. همچنین، از تصویر شکل (۷) ضخامت پوشش برای نمونه ۱، حدود ۱۲ میکرومتر و برای نمونه ۳، حدود ۱۰ میکرومتر است. بنابراین با افزایش غلظت پیرول و نمک در محلول الکترولیت، تراکم و ضخامت پوشش پلی پیرول بیشتر می‌شود.

تأثیر ضخامت طلا بر لایه نشانی پلی پیرول

زیرلایه‌های با جنس و سطح مختلف، خواص فیزیکی و شیمیایی متفاوتی ایجاد می‌کنند و همچنین زیرلایه می‌تواند بر ساختار سطح مشترک الکترود- الکترولیت نیز اثر بگذارد [11].

شکل (۸) تصویر عدد موجی FTIR نمونه‌های ۱ و ۲ را نشان داده و در جدول (٤) عدد موجی‌های قوی این نمونه‌ها آورده شده است.



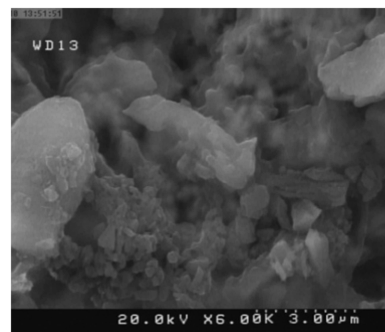
شکل ۸ مقایسه طیف FTIR برای نمونه‌های ۱ و ۲

جدول ٤ مقایسه عدد موجی نمونه‌های ۱ و ۲

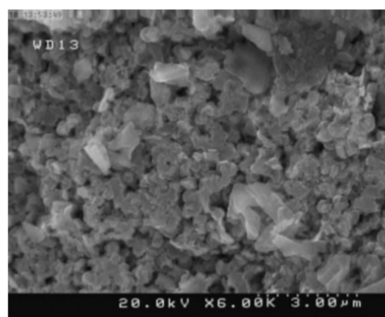
ردیف	پلی پیرول	نمونه ۱	نمونه ۲	گمارش
۱	۱٥٤۲	۱٥٤٤	–	C=C کششی
۲	۱٤٥۸	۱٤٥۸	–	C=C کششی
۳	۱۳۱۱	۱۳۱۳	–	C-N کششی
٤	۱۰٤۱	–	۱۰٤۰	N-H خمشی
٥	۹۰۸	۸۹٦	۸۹٦	C-H خمشی

طبق جدول (٤)، نمونه ۱ در عدد موجی‌های ۱٥٤۲ و ۱٤٥۸ دارای گمارش C=C کششی می‌باشد. نمونه ۱ عدد موجی ۱۳۱۱ گمارش C-N کششی داشته درصورتی که نمونه ۲ در عدد موجی ۱۰٤۰ دارای گمارش N-H خمشی است. هر دو نمونه دارای فرکانسی مشابه با پلی پیرول در عدد موجی ۸۹٦ با گمارش C-H خمشی می‌باشند. بنابراین، در هر دو نمونه ۱ و۲ لایه پلی پیرول تشکیل گردیده است.

در شکل (۹)، تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی از سطح و شکل (۱۰) تصویر مقطع عرضی از نمونه‌های ۱ و ۲ نشان داده شده است.



(الف)



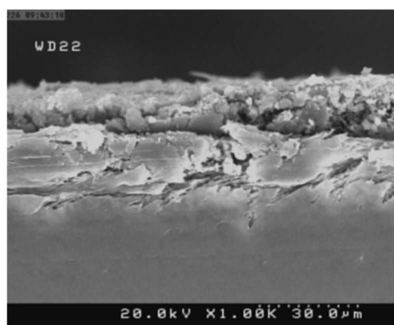
(ب)

شکل ۹ تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی از سطح مقطع (الف) نمونه ۱ و (ب) نمونه ۲

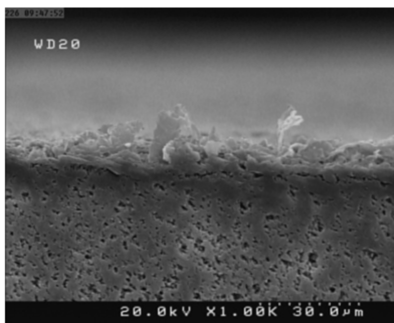
با توجه به شکل (۹) و شکل (۱۰) با مقایسه ساختار پلی پیرول در دو نمونه، تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی سطح نمونه ۱، ساختار درشت تری را نسبت به نمونه ۲ نشان می‌دهد. این تفاوت بیانگر تأثیر زیرلایه بر لایه نشینی می‌باشد. با افزایش ضخامت پوشش طلا، مقاومت الکتریکی کاهش یافته و در نتیجه پتانسیل افزایش می‌یابد و این سبب می‌شود که چگالی جریان کاهش یابد؛ و در نهایت باعث کاهش ناهمواری‌های سطحی شده و سطح یکنواخت تر می‌شود [9-11].

نتیجه گیری

در این پژوهش برروی کامپوزیت‌های پلیمری فلزی یونی چند لایه متشکل از پلیمر پلی وینیلیدین فلورید و پلی پیرول تحقیق شد. با توجه به نتایج بدست آمده متغیرهای موثر در ساخت یک کامپوزیت‌های پلیمری فلزی یونی شناسایی و تأثیرات آنها بررسی شده است و نتایج کلی زیر حاصل گردید.



(الف)



(ب)

شکل ۱۰ تصویر برش عرضی میکروسکوپ الکترونی روبشی از (الف) نمونه ۱ و (ب) نمونه ۲

۱. غلظت محلول الکترولیت از عوامل مهم در لایه نشانی در ساخت کامپوزیت می‌باشد. افزایش غلظت تا مقدار لازم تأثیر بسزایی در لایه نشانی دارد. علت آن هم این است که با افزایش غلظت محلول الکترولیت، درصد ترکیبات پیرول و نمک افزایش یافته و در نتیجه پوشش یکنواخت‌تر و حفره کمتر بوجود می‌آید.
۲. با توجه به مقایسه طیف‌های FTIR نمونه‌ها و همچنین تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی گرفته شده از نمونه‌ها، نتیجه می‌شود که غلظت ۰/۱ مولار تأثیر بیشتری در ساختار پلی پیرول و پوشش‌دهی آن دارد.

۳. با افزایش ضخامت زیرلایه طلاT مقاومت الکتریکی کاهش یافتــه و در نتیجــه پتانســیل افــزایش یافتــه و باعــث یکنــواختی ســطح پوشــش شــده و کــاهش حفره‌های آن می‌شود.

٤. با توجه به ضخامت طلا در فعالیــت‌هــای پیشــین و بررسی تأثیر طلا در ساختار پلی پیرول نشانده شـده و تصاویر میکروسکوپ الکترونـی روبشـی از ذرات پلی پیرول، بهترین مدت زمان در این آزمایشات ٤/٥ دقیقه بود که بیشترین ضخامت پوشش طلا را داشـته است.

مراجع

1. Goldak J., Chakravarti A., Bibby, M., "A new finite element model for welding heat sources", *Metallurgical Transactions B*, Vol. 15, pp. 229-305, (1984).
2. Tzou H.S., Lee H.J., "Smart materials, precision sensor/actuators, Smart structures, and structronic systems", *Mechanics of Advanced Materials and Structures*, Vol. 11, pp. 367-393, (2004).
3. Bar-Cohen Y., "Biomimetic actuators using electroactive polymers (EAP) as artificial muscles", CRC Press, California, USA, (2000).
4. Bar-Cohen Y., "Electroactive polymer (EAP) actuators as artificial muscles-reality, Potential and challenges", SPIE Press, Vol. PM98, (2001).
5. Bar-Cohen Y., "Biomimetics biologically inspired technologies", CRC Press, California, USA, (2006).
6. Shahinpoor M., Kim K., "Ionic polymer–metal composites: IV. industrial and medical applications", *Smart Materials and Structures*, Vol. 14, pp. 197–214, (2005).
7. Han G., Conducting G.S., "Polymer electrochemical actuator made of high-strength three-layered composite films of polythiophene and polypyrrole", *Sensors and Actuators B*, Vol. 99, pp. 525–531, (2004).
8. Wu Y., Alici G., Spinks G.M., Wallace G.G.," Fast three layer polypyrrole bending Actuators for high speed applications", *Synthetic Metals*, Vol. 156, pp. 1017–1022, (2006).
9. Alici G., Huynh N.N., "Performance quantification of conducting polymer actuators for real applications: a micro gripping system", IEEE/ASME Transactions on Mechatronics, Vol. 12, No. 1, (2007).
10. Eisazadeh H., "Studying the characteristics of polypyrrole and its composites", *World Journal of Chemistry*, Vol. 2.2, pp. 67-74, (2007).
11. Gaihrea B., Alici G., Geoffrey M., Cairney M., "Synthesis and performance evaluation of thin film PPY-PVDF multilayer electroactive polymer actuators", *Sensors and Actuators A*, Vol. 165, pp. 321–328, (2011).
12. Yao Q., Alici G., Spinks G.M., "Feedback control of tri-layer polymer actuators to improve their positioning ability and speed of response", *Sensors and Actuators A*, Vol. 144, pp. 176–184, (2008).